

УДК 621.91:678.5

В.А. Пасічник, д-р техн. наук, Ю.І. Адаменко, Ю.Й. Бесарабець, канд. техн. наук,  
С.О. Степаненко, Київ, Україна

## **ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ОБРОБЛЕННЯ ОТВОРІВ КОМБІНОВАНИМИ СВЕРДЛАМИ У ДЕТАЛЯХ З ПКМ**

*Під час обробки отворів у деталях з полімерних композиційних матеріалів (ПКМ) виникає ряд дефектів, зокрема ворсистість та викришування кромки отвору, розширення матеріалу на вході та на виході інструменту з отвору, висока шорсткість, деградація поверхневого шару та ін. З метою забезпечення якості обробки створено низку конструкцій осьових інструментів, які враховують специфічні фізико-механічні властивості композиційних матеріалів.*

*При обработке отверстий в деталях из полимерных композиционных материалов (ПКМ) возникает ряд дефектов, таких как ворсистость и выкрашивание кромок отверстия, расслоение материала на входе и на выходе инструмента из отверстия, высокая шероховатость, деградация поверхностного слоя и др. С целью обеспечения качества обработки создан ряд конструкций осевых инструментов, учитывающих специфические физико-механические свойства композиционных материалов.*

*During processing holes in parts of polymeric composite materials (PCM), a number of defects, including hairiness and chipping edges of the hole, the bundle of material input and output of the tool from the hole, high roughness, destruction of the surface layer and others. In order to ensure quality of treatment created a series of designs of axial tools that take into account the specific physical and mechanical properties of composite materials.*

### **Вступ**

У сучасному виробництві знаходять застосування різноманітні пластичні матеріали, що відрізняються як своїми фізико-механічними властивостями, так і областями їх застосування. До пластиків відносяться матеріали, призначені для виготовлення деталей і конструкцій, неодмінним компонентом яких є який-небудь полімер, в період формування виробів що знаходиться в пластичному або в'язко-текучому стані, а при експлуатації в склоподібному або кристалічному [1]. У серійному виробництві композиційні матеріали часто застосовують у вигляді плоских листів або листів невеликий кривизни для обшивок стільникових панелей [2].

Композиційні матеріали (КМ) являють собою гетерофазні системи, отримані з двох або більше компонентів із збереженням індивідуальності кожного окремого компонента [3]. КМ мають ряд особливостей, що впливають на якість оброблення отворів та стійкість інструменту – висока міцність, пружність, абразивна здатність, анізотропія властивостей, низька теплопровідність та ін [4].

Під час оброблення отворів у деталях з КМ виникає ряд дефектів,

зокрема ворсистість та викришування кромок отвору, розшарування матеріалу на вході та на виході інструменту з отвору, висока шорсткість, деструкція поверхневого шару та ін. [5]. Найбільш небезпечним дефектом при виготовленні отворів є розшарування матеріалу, оскільки воно суттєво знижує характеристики міцності та жорсткості виробу і його не можна усунути на подальших чистових операціях. Розшарування є небезпечним також у процесі тривалої експлуатації виробів, оскільки через високу гігроскопічність композитів у тріщину потрапляє вода, яка при багаторазовому заморожуванні-розморожуванні призводить до руйнування виробу [4].

Головною причиною розшарування є осьова сила - перемичка не ріже, а видавлює матеріал. Збільшення подачі завжди погіршує якість отвору, а саме: круглість, шорсткість, розшарування. при великих значеннях подачі з збільшенням швидкості обертання осьова сила ( $P_{oc}$ ) і крутний момент ( $M_{кр}$ ) поступово зменшуються - змінюються властивості зв'язуючого [5]. Для уникнення розшарування необхідно, щоб осьова сила різання не перевищувала критичну, за якої і відбувається руйнування композиту, а напрямок сили різання по можливості має бути таким, щоб сила різання сприяла стисканню між собою шарів КМ [6].

В даний час застосовуються різні технології оброблення отворів у КМ: свердління, свердління в поєднанні з ультразвуковими коливаннями, «орбітальне» свердління, вирубка, гідроабразивна різка, лазерна різка, електроерозійна обробка.

Свердління є одним з найбільш доступних методів обробки отворів, що пов'язано з простотою його реалізації [6]. Для зменшення розшарування на вході отвору використовують свердла з подвійною заточкою, а для усунення не прорізання волокон – свердла з гострими кромками на периферії [7]. Найбільш простими за конструкцією зі спіральних свердел з підрізаними кромками є свердла з прямолінійними різальними кромками (ПРК) зі зворотним кутом при вершині. Недоліком відомих конструкцій свердел з криволінійними кромками є складність їх якісної заточки, що знижує ефективність їх використання[8].

При обробленні отворів осьовими інструментами в волокнистих КМ виникають значні складнощі, пов'язані із забезпеченням якості поверхні на вході інструменту: на кромках отворів утворюються розшарування матеріалу, перерізання волокон супроводжується частковим витісненням їх у бік вільної поверхні і утворення ворсу. Знизити їх вплив дозволяє спосіб різання з застосуванням додаткового технологічного покриття (ДТП). Нанесення на ділянки поверхні в місці свердління тонкого шару (приблизно 0,3 ... 0,5 мм) ДТП "упрочняє" кромку отвору в основному матеріалі при врізанні інструменту, запобігає її руйнуванню і появі ворсу при свердлінні, зенкеруванні циліндричних або конічних поглиблень для кріпильних деталей

[9]. Для того щоб уникнути розшарування іноді доводиться використовувати кондуктори, що притискаються до поверхні з силою достатньою для запобігання розшарування [10].

Недоліком методу ДТП є те що потрібні додаткові затрати на нанесення та знаття додаткового шару на ПКМ.

Проте використання інструмента зі спеціальною геометрією та допоміжних матеріалів при обробленні отворів дещо зменшує розклинюючу дію інструмента на матеріал, проте не усуває її повністю.

Позитивні результати щодо якості оброблення були отримані з використанням свердел [11], у яких різальна частина є ступінчастою. З метою зменшення осьової сили свердла мають бути гострими, а подачу необхідно зменшувати. Фактично відбувається свердління та розсвердлення отвору. При цьому більшу частину осьової сили сприймає перша ступінь свердла, оскільки саме на серцевину свердла приходить більша частина осьової сили. Дефекти обробленого матеріалу, що виникли під час роботи першої ступені видаляються другою ступенню свердла [12]. Недоліком такої конструкції є складність отримання якісної поверхні на виході інструменту з оброблюваної заготовки, оскільки напрямок дії осьової сили свердла як під час роботи першої ступені, так і під час роботи другою ступеню є несприятливим, адже осьова сила не стискає шари матеріалу між собою, а навпаки викликає їх розшарування.

Таким чином для подальшого покращення якості обробленої поверхні КМ будемо розглядати комбінований інструмент.

**Метою** даної роботи є підвищення якості механічного оброблення отворів у полімерних композиційних матеріалах (ПКМ) за рахунок удосконалення конструкції комбінованого різального інструмента.

У ході вивченні даних проблем при обробці отворів у деталях з ПКМ було розглянуто конструкцію різального інструменту [12]. Вихід різальної кромки з деталі є найбільш небезпечним з точки зору утворення розшарувань, сколів та ворсистості. Але саме в цей час різальна втулка та інструмент стискають шари матеріалу між собою, що запобігає появі дефектів. Тобто верхні шари матеріалу на виході інструменту зрізуються за принципом "ножиць", коли рухома різальна кромка притискає волокна композиційного матеріалу до нерухомої різальної втулки. Для успішного зрізання волокон величина зазору між інструментом та втулкою не повинна перевищувати діаметра волокон композиту.

Недоліком такої конструкції є наявність радіальної сили різання, що виникає під час обробки отвору відкидним ножом. Радіальна сила викликає збільшення зазору між різально-направляючою втулкою та лезом ножа. При цьому волокна композиту не зрізаються, а обриваються, що призводить до підвищення ворсистості обробленої поверхні, а відповідно і до зниження якості обробки.

Два напрямки оброблення отворів у деталях з ПКМ:

- З підкладним елементом;
- Без підкладного елемента.

**Комбінований різальний інструмент з підкладним елементом.**

В основу нової моделі поставлена задача зменшити сили різання та підвищення продуктивності при обробці багатшарових КМ, який відрізняється тим, що ступінь інструменту більшого діаметра виконаний у вигляді двох відкидних ножів, розташованих в одній поздовжній площині в пазу корпусу.

Пристрій [13] складається з різального інструменту 1 та різально-направляючої втулки 2. Інструмент складається з корпусу, на якому розміщені два різальних ступені. Перший ступінь складається з центральної різальної пластини 3, що призначена для обробки початкового отвору діаметром  $D_1$  в суцільній заготовці 4. Другий ступінь складається з двох відкидних ножів 5 і 6, встановлених на осі 7 (рис. 1.а). Ножі розташовані у поздовжній площині в пазу корпусу. Таке розташування ножів дозволяє отримати доцільні геометричні параметри леза ножа та утворює достатньо місця для відведення стружки із зони різання. Відкидні ножі, а також різальнонаправляюча втулка 2 призначені для обробки остаточного отвору діаметром  $D_2$ .

Обробка отвору виконується у такій послідовності.

Різально-направляюча втулка 2 притискається до заготовки 4 і на протязі всього періоду обробки є нерухомою. Свердлу надається обертальний рух та рух подачі, тобто зверху донизу (рис. 1.б). Свердло вривається в матеріал заготовки і обробляє отвір діаметром  $D_1$ . Під час обробки попереднього отвору ножі 5 і 6 повертаються навколо осі 7 і розміщуються всередині пазу корпусу інструменту. У такому положенні ножі проходять через отвір діаметром  $D_1$ .

Після того як різальна пластинка 3 обробила отвір діаметром  $D_1$  і вийшла з контакту із заготовкою, рух подачі продовжується до того часу, поки через отвір не пройдуть поворотні ножі 5 і 6 (рис. 1.в). Під дією сил інерції поворотні ножі повертаються навколо осі 7 і займають робоче положення, притискаючись до опорних поверхонь корпусу. В цей момент пряма подача вимикається та вмикається зворотна подача, тобто знизу вгору. Під час руху догори ножі 5 і 6 формують остаточний оброблений отвір діаметром  $D_2$  (рис. 1.г). Особливістю роботи пристрою є те, що напрямок подачі інструменту змінюється, а напрямок обертання залишається постійним (без реверсу), що спрощує конструкцію пристрою.

На виході ножів з контакту з деталлю різальна втулка та інструмент стискають шари матеріалу між собою, що значно підвищує жорсткість заготовки та запобігає появі дефектів.

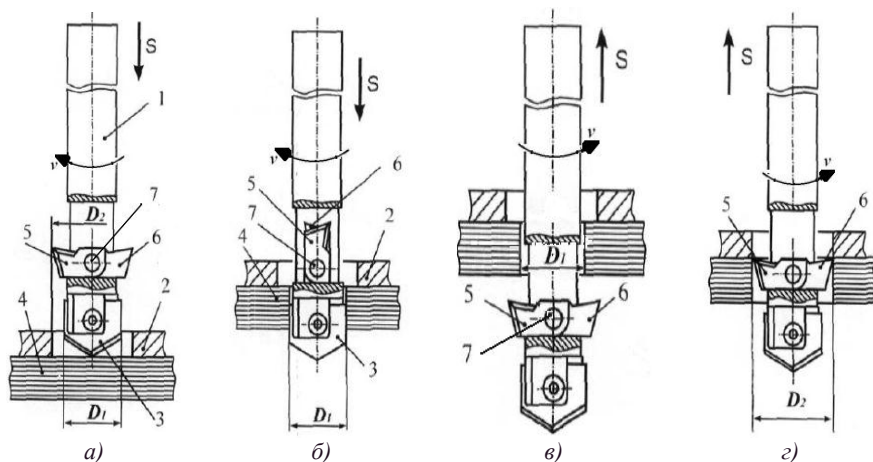


Рисунок 1 – Схема обробки і схема знімання припуску:

- а – початкове положення інструмента;  
 б – поворотні ножі розміщуються всередині пазу корпусу інструменту;  
 в – поворотні ножі займають робоче положення;  
 г – ножі формують остаточно оброблений отвір

### Комбінований різальний інструмент без підкладного елемента.

В основу іншої моделі є те що замість не рухомої різальної втулки застосовуємо третю ступінь, що має діаметр остаточного отвору і призначений для обробки верхньої частини отвору при прямій подачі.

Комбіноване різальне свердло[14] складається з корпусу 1 та робочої частини (рис. 2.а). Робоча частина інструмента складається з центральної різальної пластини 2, поворотного ножа 3 та двох різальних пластин 4 і 5. Різальна пластина 2 призначена для обробки початкового отвору діаметром  $D_1$  у листовій заготовці 6. Кріплення пластини виконується за допомогою гвинта. Свердління здійснюється за правого обертання та прямої подачі свердла. Поворотний ніж 3 призначений для обробки остаточного отвору  $D_2$ . Процес обробки відбувається за лівого обертання інструмента та зворотної подачі (в бік холостого ходу звичайного свердління). Поворотний ніж має можливість вільно обертатися навколо осі 7. Поворотний ніж при правому обертанні повертається (складається) і притискається до корпусу інструмента, а під час лівого обертання ніж повертається навколо осі 7 і займає робоче положення, спираючись тильною частиною на опорну поверхню корпусу. Різальні пластини 4 і 5 розташовані одна проти одної для обробки отвору діаметром  $D_2$  при правому обертанні та прямої подачі.

Обробка отвору виконується у такій послідовності.

Свердлу надається праве обертання та пряма подача, тобто зверху донизу (рис. 2.а). Свердло вривається в матеріал заготовки і обробляє отвір

діаметром  $D_1$ . Геометричні параметри пластини 2 (кут в плані  $\phi$ , передній  $\gamma$  та задній  $\alpha$  кути) та режими свердління (швидкість різання та подача) вибрані такими, щоб дефектна зона матеріалу не виходила за межі остаточно обробленого отвору  $D_2$ . Під час правого обертання ніж 3 повертається навколо осі 7 і притискається до корпусу різального інструмента. У такому положенні ніж проходить через отвір діаметром  $D_1$  (рис. 2.б).

Після проходження відкидного ножа в отвір в роботу вступають різальні пластини 4 і 5 (рис. 2.в). Вони розсвердлюють початковий отвір до остаточного розміру  $D_2$  на глибину  $h$ , що дорівнює половині товщини заготовки 6. В цей момент рух подачі зупиняється, інструменту надають лівого обертання, і вмикається зворотна робоча подача, тобто знизу догори (рис. 2.г).

Отримавши ліве обертання, поворотний ніж 3 повертається навколо осі 7 і займає робоче положення. Під час руху догори різальна кромка ножа 3 формує отвір діаметром  $D_2$  від нижнього торця заготовки до її середини, тобто ніж 3 зрізає весь припуск, залишений пластинами 4 і 5.

Вихід різальної кромки з деталлю є найбільш небезпечним з точки зору утворення розшарувань, сколів та ворсистості. У даній конструкції інструмента відсутній вихід інструмента з заготовки на робочій подачі. Остаточний отвір діаметром  $D_2$  обробляється від верхнього торця до середини заготовки та від нижнього торця назустріч до середини заготовки до повного формування отвору.

Важливо, що спрощується конструкція інструмента у порівнянні з найближчим аналогом, оскільки відсутня різально-направляюча втулка та допоміжні елементи для її кріплення.

#### **Визначити умови експлуатації інструмента з підкладним елементом**

При використанні комбінованого інструменту з підкладним елементом цикл оброблення отвору починається з точки  $P_{0П}$  (рис. 3), яка знаходиться на безпечній відстані  $L_B$  від поверхні заготовки. Подальші переміщення інструменту будемо розглядати в системі координат  $Z$ , рух інструмента відбувається зверху до низу і в зворотному напрямку. У розрахунку циклу оброблення отвору повинні враховуватись такі конструктивні параметри інструменту (рис. 4).

Перший етап оброблення отвору інструмент переміщається з точки  $P_{0П}$  в точку  $P_1$  на прискореній подачі  $S_{прис}$  без обертання інструмента. В точці  $P_1$  включається робоча подача  $S_{р1}$  та праве обертання інструмента  $n_{р1}$ . З точки  $P_1$  до точки  $P_2$  відбувається свердління отвору діаметром  $D_1$ . В точці  $P_2$  інструменту надається прискорена подача  $S_{прис}$  і продовжує рух до точки  $P_3$ . В точці  $P_3$  виключається прискорена подача  $S_{прис}$  та праве обертання інструмента. Другий етап оброблення отвору відбувається знизу до гори. Включається ліве обертання  $n_{р2}$  і робоча подача  $S_{р2}$ . З точки  $P_3$  до точки  $P_4$  відбувається розсвердлення отвору діаметром  $D_2$ . В точці  $P_4$  виключається

ліве обертання і надається інструменту прискорену подачу  $S_{\text{прис.}}$ . На цих режимах інструмент повертається у вихідне положення в точку  $P_{0П}$ . Цикл оброблення отвору закінчено.

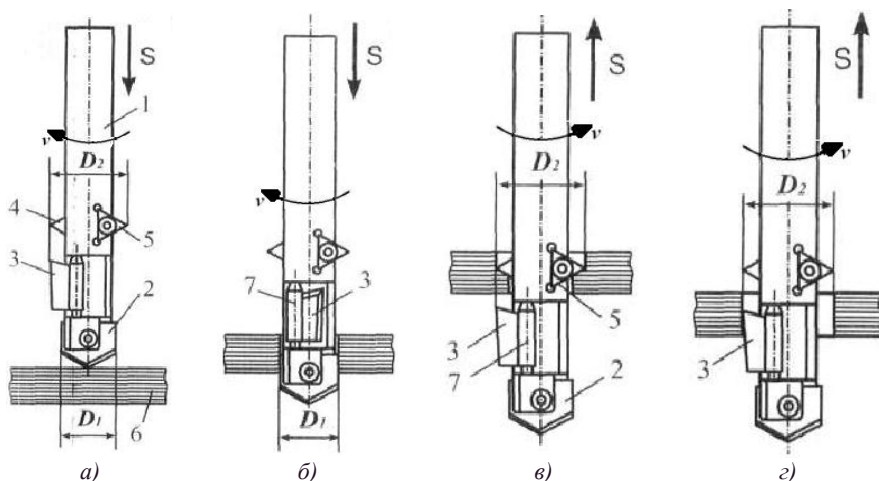


Рисунок 2 – Схема обробки і схема знімання припуску комбінованим свердлом  
а – початкове положення інструмента;

б – ніж притискається до корпусу;

в – поворотний ніж проходить через отвір в роботу вступає третій ступінь;

г – ніж формують остаточно оброблений отвір

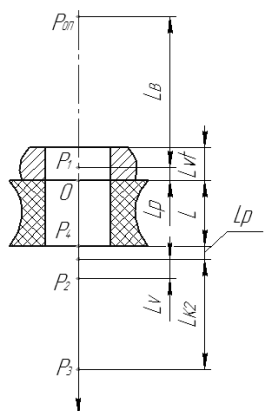


Рисунок 3 – Цикл оброблення отвору у деталях з ПКМ комбінованим інструментом з підкладним елементом:  
 $L$  – товщина деталі;

$L_{V1}$  – товщина різальної втулки;

$L_B$  – безпечна відстань;

$L_P$  – відстань перерізання;

$L_{K2} = L_{K1} + L_{PL}$  – конструктивний віліт інструмента за границю заготовки;

$L_V = \frac{D}{2 * \tan \varphi}$  – висота різальної кромки

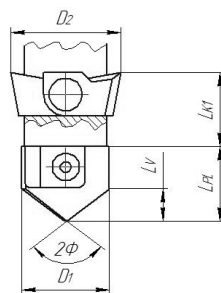


Рисунок 4 – Конструктивні параметри інструменту:

$D_1$  – діаметр 1-го ступеня;

$D_2$  – діаметр 2-го ступеня;

$2\Phi$  – кут в плані;

$L_{PL}$  – висота пластини;

$L_{K1}$  – відстань між пластиною та різальною кромкою другого ступеня

Цикл оброблення передбачає переміщення по точкам ( $P_{0П} \rightarrow P_1 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3 \rightarrow P_4 \rightarrow P_{0П}$ ) з різними режимами на кожному переході. Координати та режими наведені у табл. 1.

Таблиця 1 – Етапи оброблення отвору комбінованим інструментом з підкладним елементом

Точка	$Z_i$	Перехід	Подача, мм/хв	Частота обертання, об/хв.	Відстань, мм	$t_i$ , хв.
$P_{0П}$	$-(L_B+L_P)$	$P_{0П}-P_1$	$S_{прис}$	-	$L_B$	$L_B/S_{прис}$
$P_1$	$-L_P$					
$P_2$	$L+L_P+L_V$	$P_1-P_2$	$S_{P1}$	$n_{P1}$	$L_P+L+L_P+L_V$	$(L_P+L+L_P+L_V)/S_{P1}$
		$P_2-P_3$	$S_{прис}$	$n_{P1}$	$L_{K2}-L_V$	$(L_{K2}-L_V)/S_{прис}$
$P_3$	$L+L_P+L_{K2}$	$P_3-P_4$	$S_{P2}$	$n_{P2}$	$L_{K2}+L_P$	$(L_{K2}+L_P)/S_{P2}$
$P_4$	$L$					
$P_{0П}$	$-(L_B+L_P)$	$P_4-P_{0П}$	$S_{прис}$	-	$L_B+L_P+L$	$(L_B+L_P+L)/S_{прис}$

Сумарний час на реалізацію циклу:

$$\begin{aligned}
 t_{\Sigma П} &= \sum_{i=1}^5 t_i = \frac{L_B}{S_{прис}} + \frac{2L_P + L + L_V}{S_{P1}} + \frac{L_{K2} - L_V}{S_{прис}} + \frac{L_{K2} + L_P}{S_{P2}} + \frac{L_B + L_P + L}{S_{прис}} = \\
 &= \frac{2L_B + L_{K2} - L_V + L_P + L}{S_{прис}} + \frac{2L_P + L + L_V}{S_{P1}} + \frac{L_{K2} + L_P}{S_{P2}} \quad (1)
 \end{aligned}$$

**Визначити умови експлуатації інструмента без підкладного елемента.**

При використанні комбінованого інструменту без підкладного елемента цикл оброблення отвору починається з точки  $P_{0П}^*$  (рис. 5), яка знаходиться на безпечній відстані  $L_B$  від поверхні заготовки. Подальші переміщення інструменту будемо розглядати в системі координат  $Z$ , рух інструмента відбувається зверху до низу і в зворотному напрямку. У розрахунку циклу оброблення отвору повинні враховуватись такі конструктивні параметри інструменту (рис. 6).

Перший етап оброблення отвору інструмент переміщається з точки  $P_{0П}^*$  в точку  $P_1^*$  на прискореній подачі  $S_{прис}$  без обертання інструмента. В точці  $P_1^*$  включається робоча подача  $S_{P1}$  та праве обертання інструмента  $n_{P1}$ . З точки  $P_1^*$  до точки  $P_2^*$  відбувається свердління отвору діаметром  $D_1$ . В точці  $P_2^*$



інструменту надається прискорена подача  $S_{\text{прис}}$  і продовжує рух до точки  $P_3^*$ . Другий етап оброблення отвору. Включається робоча подача  $S_{P2}$  та праве обертання інструмента  $n_{P1}$  в точці  $P_3^*$ . З точки  $P_3^*$  до точки  $P_4^*$  відбувається розсвердлення верхніх шарів отвору діаметром  $D_2$  на глибину  $L/2$ . В точці  $P_4^*$  виключається праве обертання і надається прискорена подача  $S_{\text{прис}}$  і продовжує рух до точки  $P_5^*$ . Третій етап оброблення отвору відбувається знизу до гори. Включається ліве обертання  $n_{P2}$  і робоча подача  $S_{P2}$ . З точки  $P_5^*$  до точки  $P_2^*$  відбувається розсвердлення нижніх шарів отвору діаметром  $D_2$ . В точці  $P_2^*$  виключається ліве обертання і надається інструменту прискорену подачу  $S_{\text{прис}}$ . На цих режимах інструмент повертається у вихідне положення в точку  $P_{0П}$ . Цикл оброблення отвору закінчено.

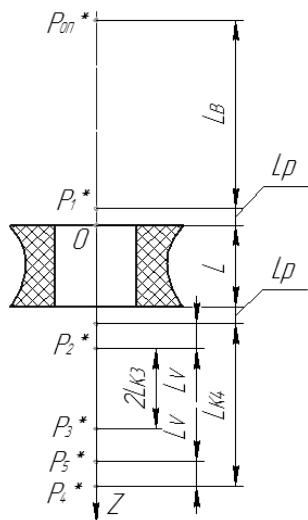


Рисунок 5 – Цикл оброблення отвору у деталях з ПКМ комбінованим інструментом, без підкладного елемента:  
 $L$  – товщина деталі;  
 $L_B$  – безпечна відстань;  
 $L_P$  – відстань перерізання;

$L_{E4} = L_{PL} + L_{E1} +$   
 $+ L_{E3} - L/2 - L_P$   
 конструктивний виліт інструмента за границю заготовки;

$$L_V = \frac{D}{2 \cdot \tan \varphi} - \text{висота різальної кромки}$$

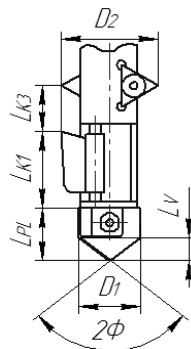


Рисунок 6 – Конструктивні параметри інструменту:  
 $D_1$  – діаметр 1-го ступеня;  
 $D_2$  – діаметр 2-го та 3-го ступеня;  
 $2\Phi$  – кут в плані;  
 $L_{PL}$  – висота пластини;  
 $L_{K1}$  – відстань між пластиною та різальною кромкою 2-го ступеня;  
 $L_{K3}$  – відстань між різальною кромкою 2-го ступеня та вершиною 3-го ступеня

Цикл оброблення передбачає переміщення по точкам ( $P_{0П}^* \rightarrow P_1^* \rightarrow P_2^* \rightarrow P_3^* \rightarrow P_4^* \rightarrow P_5^* \rightarrow P_2^* \rightarrow P_{0П}^*$ ) з різними режимами на кожному переході. Координати та режими наведені у табл. 2.

Таблица 2 – Этапы обработки отвору комбінованим інструментом без підкладного елементу

Точ-ка	Z <sub>i</sub>	Пере-хід	Пода-ча, мм/хв	Час-тота обер-тання, об/хв.	Відстань, мм	t <sub>i</sub> <sup>*</sup> , хв.
P <sub>0П</sub> <sup>*</sup>	-(L <sub>B</sub> +L <sub>P</sub> )	P <sub>0П</sub> <sup>*</sup> -P <sub>1</sub> <sup>*</sup>	S <sub>прис</sub>	-	L <sub>B</sub>	L <sub>B</sub> / S <sub>прис</sub>
P <sub>1</sub> <sup>*</sup>	-L <sub>P</sub>					
P <sub>2</sub> <sup>*</sup>	L+L <sub>P</sub> +L <sub>V</sub>	P <sub>1</sub> <sup>*</sup> -P <sub>2</sub> <sup>*</sup>	S <sub>P1</sub>	np <sub>1</sub>	2L <sub>P</sub> +L+L <sub>V</sub>	(2L <sub>P</sub> +L+L <sub>V</sub> )/ S <sub>P1</sub>
		P <sub>2</sub> <sup>*</sup> -P <sub>3</sub> <sup>*</sup>	S <sub>прис</sub>	np <sub>1</sub>	2L <sub>K3</sub>	2L <sub>K3</sub> / S <sub>прис</sub>
P <sub>3</sub> <sup>*</sup>	L+L <sub>P</sub> +L <sub>V</sub> +2L <sub>K3</sub>	P <sub>3</sub> <sup>*</sup> -P <sub>4</sub> <sup>*</sup>	S <sub>P2</sub>	np <sub>2</sub>	L <sub>K4</sub> -2L <sub>K3</sub> -L <sub>V</sub>	(L <sub>K4</sub> -2L <sub>K3</sub> -L <sub>V</sub> )/ S <sub>P2</sub>
P <sub>4</sub> <sup>*</sup>	L+L <sub>P</sub> +L <sub>K4</sub>					
P <sub>5</sub> <sup>*</sup>	L+L <sub>P</sub> +L <sub>K4</sub> -L <sub>V</sub>	P <sub>4</sub> <sup>*</sup> -P <sub>5</sub> <sup>*</sup>	S <sub>прис</sub>	np <sub>2</sub>	L <sub>V</sub>	L <sub>V</sub> / S <sub>прис</sub>
		P <sub>5</sub> <sup>*</sup> -P <sub>2</sub> <sup>*</sup>	S <sub>P2</sub>	np <sub>2</sub>	L <sub>K4</sub> -2L <sub>V</sub>	(L <sub>K4</sub> -2L <sub>V</sub> )/ S <sub>P2</sub>
P <sub>2</sub> <sup>*</sup>	L+L <sub>P</sub> +L <sub>V</sub>	P <sub>2</sub> <sup>*</sup> -P <sub>0П</sub> <sup>*</sup>	S <sub>прис</sub>	-	L <sub>B</sub> +2L <sub>P</sub> +L+L <sub>V</sub>	(L <sub>B</sub> +2L <sub>P</sub> +L+L <sub>V</sub> )/S <sub>прис</sub>
P <sub>0П</sub> <sup>*</sup>	-(L <sub>B</sub> +L <sub>P</sub> )					

Сумарний час на реалізацію циклу:

$$\begin{aligned}
 t_{\Sigma B} &= \sum_{i=1}^7 t_i^* = \frac{L_B}{S_{прис}} + \frac{2L_P + L + L_V}{S_{P1}} + \frac{2L_{K3}}{S_{прис}} + \frac{L_{K4} - 2L_{K3} - L_V}{S_{P2}} + \\
 &\quad + \frac{L_V}{S_{прис}} + \frac{L_{K4} - 2L_V}{S_{P2}} + \frac{L_B + L + 2L_P + L_V}{S_{прис}} = \\
 &= \frac{2L_B + 2L_{K3} + L + 2L_P + 2L_V}{S_{прис}} + \frac{2L_P + L + L_V}{S_{P1}} + \frac{2L_{K4} - 2L_{K3} - 3L_V}{S_{P2}}; \quad (2)
 \end{aligned}$$

### Порівняльний аналіз двох конструкцій

У ході вивчення даних проблем при обробленні отворів у деталях з ПКМ було розглянуто два різального інструменту та проведено їх порівняльний аналіз (табл. 3).

Таблиця 3 – Порівняльний аналіз двох конструкцій.

	Комбінований різальний інструмент з підкладним елементом	Комбінований різальний інструмент без підкладного елемента
Переваги	На виході ножів з контакту з деталлю різальна втулка та інструмент стискають шари матеріалу між собою, що значно підвищує жорсткість заготовки та запобігає появі дефектів	Відсутній вихід інструмента з заготовки на робочій подачі. Оскільки завершення обробки ножом відбувається в середині заготовки.
Недоліки	Складність установки різальної втулки співвісно з віссю інструмента.	Більший виліт інструмента за границі заготовки.

Конструкція різального інструмента з підкладним елементом виходить за границю матеріалу на відстань  $L_{K2}$ , а різальний інструмент без підкладного елемента виходить на  $L_{K4}$ , якщо від другої відстані відняти першу, то отримуємо:

$$\Delta L = L_{K4} - L_{K2} = (L_{PL} + L_{K1} + L_{K3} - L/2 - L_P) - (L_{PL} + L_{K1}) = L_{K3} - L/2 - L_P; \quad (3)$$

Якщо деталь має обмеження по виліту інструмента, то потрібно використовувати комбінований інструмент з підкладним елементом конструктивний виліт менший ніж у інструмента без підкладного елемента.

Від рівняння (2) відніmemo (1) і отримуємо різницю у часі по обробленню отвору:

$$\Delta t = t_{\Sigma B} - t_{\Sigma II} = \frac{L_P(S_{P2} - 3S_{прис}) + 3L_P(S_{P2} - S_{прис}) + 2S_{P2}(L_{K3} - L_{K2}) + (L/2)S_{прис}}{S_{прис} * S_{P2}}; \quad (4)$$

Відомо, що  $S_{прис} \gg S_{P2}$  виходячи з цієї умови чисельник буде мати від'ємне значення. На оброблення отвору комбінованим інструментом без підкладного елемента потрібно більше часу ніж з підкладним елементом.

Комбінований інструмент з підкладним елементом виграє у часі оброблення отвору і має менший виліт інструменту за межі деталі, чим інструмент без підкладного елемента. Недолік такої конструкції у складності установки різальної втулки співвісно з віссю інструмента.

## **Висновки**

1. Удосконалення схем механічної оброблення отворів в деталях з ПКМ знижує значення силових показників; забезпечення якості на виході інструмента з оброблюваної заготовки; підвищення продуктивності та уникнення утворення розшарування.

2. На базі можливих схем розроблені конструкції інструментів: комбінований різальний інструмент з підкладним елементом та без підкладного елемента, на данні конструкції було отримано Патенти України на корисну модель; комбіноване свердло з обгінною муфтою осьового ходу та подана заявка на Патент України на корисну модель.

3. Порівняння умов експлуатації двох конструкцій удосконаленого інструмента отримуємо такі результати: комбінований інструмент з підкладним елементом має кращий результат по часу оброблені отвору та менший виліт інструменту за границю заготовки ніж без підкладного елемента. Якщо маємо необмежений виліт інструмента за границі заготовки, то краще використовувати комбінований інструмент без підкладного елемента. Дефектна зона переходить у середину заготовки, що забезпечує якість обробки граничних шарів заготовки.

4. Дослід показав, при використанні удосконалених схем механічної обробки отворів в деталях з ПКМ, що оброблюються комбінованим свердлом з обгінною муфтою осьового ходу забезпечує якість оброблюваної поверхні на виході інструмента уникнення утворення розшарування.

**Список використаних джерел:** 1. *Степанов А.А.* Обработка резанием высокопрочных композиционных полимерных материалов. -Л.: Машиностроение, Ленингр. отд.-ние. 1987 176 с. 2. Композиционные материалы: В 8-ми т. Пер. с англ. Под ред. *Л. Браутмана, Р. Крока.* -М.: Машиностроение, 1978 -Т.3. Применение композиционных материалов технике / Под ред. *Б. Нотона.* 1978. 511с., ил. 3. *Мелешко А.И., Половников С.П.* Углерод, углеродные волокна, углеродные композиты. -М.: «САЙНС-ПРЕСС», 2007. - 192с., ил. 4. Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць. - Краматорськ, вип. №32, 2013. - 424с. 5. *Буланов И.М., Воробей В.В.* Технология ракетных и аэрокосмических конструкций из композиционных материалов: Учеб. Для вузов. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1998. 516 с. ISBN 5-7038-1319-0. 6. *Пасічник В.А.* Звід про НДР «Збір, Систематизація і аналіз масиву даних для інформаційної підтримки вибору технології обробки отворів під болтові з'єднання складальних одиниць, що включають деталі з ПКМ». *В.А. Пасічник, Ю.І. Адаменко, О.В. Глоба, В.М. Кореньков.* Київ, НТУУ «КПІ», 2010. - 123с. 7. *Бойцов А.Г., Дудаков В.Б.,* і ін. Новое в обработке композитов[ Электронный ресурс]. Режим доступа до ресурсу: <http://vniimalmaz.ru/technology/45.html?PHPSESSID=mbv3l3p32rfgrsn60hj2hn0st5> 8. *Луткин Б.В., Мамлюк О.В.,* і ін. Исследование качества поверхности композиционных материалов при обработке сверлами с подрезающими кромками. Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии № 51, 2011. 9. *Ярославцев В.М.* Высокоэффективные технологии обработки изделий из композиционных материалов. Электронное научно-техническое издание «Наука и образование» Эл. № ФС 77-30569. 10. *Ярославцев В.М.* Технологические решения проблем обработки ракетных и аэрокосмических конструкций из композиционных материалов // Вестник МГТУ. Сер. Машиностроение. Спец. выпуск "Композиционные материалы, конструкции и технологии", 2005. - С. 41-62. 11. PATENT US 2003/0202853 A1 Oct. 30, 2003 Step

drill for minimization of burrs when drilling, *Sung-Lim Ko, Jae-Eun Hang*. **12.** Патент на корисну модель UA 77455 МПК В23В 51/08 (2006.01), Опубл. 11.02.2013, Бюл. 3. Пристрій для обробки отворів у композитах. *Адаменко Ю.І., Бесарабець Ю.І., Корбут Є.В., Грабівський О.В.* **13.** Патент на корисну модель UA 88454 МПК В23В 51/08 (2006.01), Опубл. 11.03.2014, Бюл. 3. Пристрій для обробки отворів у полімерних композиційних матеріалах. *Адаменко Ю.І., Бесарабець Ю.І., Пасічник В.А., Степаненко С.О.* **14.** Патент на корисну модель UA 89574 МПК В23В 51/08 (2006.01), Опубл. 25.04.2014, Бюл. 3. Комбіноване свердло для обробки композитів. *Адаменко Ю.І., Бесарабець Ю.І., Пасічник В.А., Степаненко С.О.*

**Bibliography (transliterated):** 1. Stepanov A.A. Obrabotka rezaniem vysokoprochnykh kompozicionnykh polimernykh materialov. -L.: Mashinostroenie, Leningr. otd-nie. 1987 176 s. 2. Kompozicionnye maetrialy: V 8-mi t. Per. s angl. Pod red. L. Brautmana, R. Kroka. -M.: Mashinostroenie, 1978 -T.3. Primenenie kompozicionnykh materialov tehnike / Pod red. B. Notona. 1978. 511s., il. 3. Meleshko A.I., Polovnikov S.P. Uglerod, uglerodnye volokna, uglerodnye kompozity. -M.: «SAJNS-PRESS», 2007. - 192s., il. 4. Nadijnist' instrumentu ta optimizacija tehnologichnih sistem. Zbirnik naukovih prac'. - Kramators'k, vip. №32, 2013. - 424s. 5. Bulanov I.M., Vorobej V.V. Tehnologija raketnyh i ajerokosmicheskikh konstrukcij iz kompozicionnykh materialov: Ucheb. Dlja vuzov. - M.: Izd-vo MGTU im. N.Je. Bauman, 1998. 516 s. ISBN 5-7038-1319-0. 6. Pasichnik V.A Zvid pro NDR «Zbir, Sistematizacija i analiz masivu danih dlja informacijnoi pidtrimki viboru tehnologii obrobki otvoriv pid boltovi z'ednannja skladal'nih odinic', shho vkljuchajut' detali z PKM». V.A. .Pasichnik, Ju.I. Adamenko, O.V. Globa, V.M. Koren'kov. Kiïv, NTUU «KPI», 2010. - 123s. 7. Bojcov A.G., Dudakov V.B., i in. Novoe v obrabotke kompozitov [Elektronnij resurs]. Rezhim dostupu do resursu: <http://vniimalmaz.ru/technology/45.html?PHPSESSID=mbv3ldp32frgsn60hj2hn0st5> 8. Lupkin B.V., Mamljuk O.V., i in. Issledovanie kachestva poverhnosti kompozicionnykh materialov pri obrabotke sverlami s podrezajushchimi kromkami. Otkrytye informacionnye i komp'juternye integrirovannye tehnologii № 51, 2011. 9. Jaroslavcev V.M. Vysokojeffektivnye tehnologii obrabotki izdelij iz kompozicionnykh materialov. Jelektronnoe nauchno-tehnicheskoe izdanie «Nauka i obrazovanie» Jel. № FS 77-30569. 10. Jaroslavcev V.M. Tehnologicheskie reshenija problem obrabotki raketnyh i ajerokosmicheskikh konstrukcij iz kompozicionnykh materialov // Vestnik MGTU. Ser. Mashinostroenie. Spec. vypusk "Kompozicionnye materialy, konstrukcii i tehnologii", 2005. - S. 41-62. 11. PATENT US 2003/0202853 A1 Oct. 30, 2003 Step drill for minimization of burrs when drilling, Sung-Lim Ko, Jae-Eun Hang 12. Patent na korisnu model' UA 77455 MPK V23V 51/08 (2006.01), Opubl. 11.02.2013, Bjul. 3. Pristrij dlja obrobki otvoriv u kompozitah. Adamenko Ju.I., Besarabec' Ju.I., Korbut Є.V., Grabivs'kij O.V. 13 Patent na korisnu model' UA 88454 MPK V23V 51/08 (2006.01), Opubl. 11.03.2014, Bjul. 3. Pristrij dlja obrobki otvoriv u polimernih kompozicijnih materialah. Adamenko Ju.I., Besarabec' Ju.J., Pasichnik V.A., Stepanenko S.O. 14. Patent na korisnu model' UA 89574 MPK V23V 51/08 (2006.01), Opubl. 25.04.2014, Bjul. 3. Kombinovane sverdlo dlja obrobki kompozitiv. Adamenko Ju.I., Besarabec' Ju.J., Pasichnik V.A., Stepanenko S.O.

*Поступила в редколлегию 7.08.2015*